

第5章 地震動の特性

5.1 ダムサイト岩盤および土質地盤の地震動

(1) 最大加速度

兵庫県南部地震において観測されたダムサイト岩盤の最大加速度を表-5.1に、ダム以外の土質地盤において観測された最大加速度を表-5.2に示す。各ダムの位置は図-5.1に示すとおりである。なお、ダムサイト岩盤の最大加速度は、各ダムの管理者から報告された値もしくは各ダムの管理者から提供された波形をもとに解析した値である。

次に、ダムサイト岩盤で観測された最大加速度（水平加速度、鉛直加速度）と土質地盤で観測された最大加速度を震央距離との関係で整理した結果を図-5.2に示す。観測された最大加速度は、震央距離が大きくなるにしたがって減少する傾向が認められる。また、ダムサイト岩盤で観測された最大加速度は、同じ震央距離にある土質地盤で観測された最大加速度よりも小さくなる傾向が認められる。

(2) 加速度応答スペクトル

各ダムの管理者から提供された25波形をもとにダムサイト岩盤における地震動の正規化した加速度応答スペクトル（最大加速度を1とした応答スペクトル）を作成した結果を図-5.3に示す。図には、平均値、標準偏差を併記している。

図より、ダムサイト岩盤においては、平均的には固有周期0.6秒以上になると加速度応答スペクトルが低減する傾向が認められる。

なお、図-5.3には、神戸海洋気象台、淀川堤防、淀川大堰、加古川大堰の4地点の土質地盤で観測された地震動の正規化した加速度応答スペクトルを参考として示す。

表-5.1(1) ダムサイト岩盤の最大加速度

No.	ダム名	管理者	形式 ¹⁾	堤高 (m)	震央からの距離 (震源からの距離) (km)	地震計設置位置	最大加速度 ³⁾				基礎 岩盤
							水平加速度 (gal)	上下流 最大加速度 (gal)	ダム軸 最大加速度 (gal)	直 最大加速度 (gal)	
1	一庫	水資源開発公団	G	75.0	47 B (10)	底部通廊	183	183	157	64	中生代(丹波帯) 粘板岩, 砂岩, 互層
2	箕面川	大阪府	R	47.0	48 B (11)	底設通廊	128	128	122	75	中生代(丹波帯) 砂岩, 粘板岩
3	呑吐	近畿農政局	G	71.5	19 A (12)	底部通廊	111	97	111	—	中生代白亜紀(有馬層群) 流紋岩質凝灰角礫岩
4	権現	兵庫県	R	32.6	28 A (28)	堤体下部岩盤	103	103	92	67	中生代白亜紀(有馬層群) 流紋岩類
5	天ヶ瀬	近畿地建	A	72.0	78 B (45)	底部通廊	95	43	95	24	中生代(丹波帯) 砂岩, 粘板岩
6	喜撰山	関西電力	R	91.0	80 B (46)	底設通廊	90	46	90	44	中生代(丹波帯) チャート, 粘板岩
7	大野	京都府	G	61.4	82 B (49)	底部通廊	29	29	26	24	中生代(丹波帯) 砂岩, 粘板岩, チャート
8	白川	奈良県	E	30.0	73 B (50)	下流法尻岩盤	50	50	39	48	第三紀鮮新世(白川池累層) 泥質岩優勢層, 砂質岩優勢層
9	布日	水資源開発公団	G	72.0	86 B (59)	底部通廊	29	29	18	16	中生代白亜紀(領家帯) 花崗岩
10	高山	水資源開発公団	GA	67.0	90 B (60)	底部通廊	13	12	13	13	中生代白亜紀(領家帯) 花崗岩
11	生野	兵庫県	G	56.5	67 A (61)	底部通廊	13	6	13	16	中生代白亜紀(生野層群) 流紋岩質角礫凝灰岩
12	長谷	関西電力	G	102.0	65 A (63)	底部通廊	30	25	30	22	中生代白亜紀(生野層群) 石英閃緑岩
13	黒川	関西電力	R	98.0	71 A (63)	下流法尻岩盤	85	85	45	53	中生代白亜紀~新生代古第三紀(生野層群) 凝灰角礫岩, 凝灰岩
14	千足	香川県	G	41.4	75 B (64)	底部通廊	32	29	32	16	中生代白亜紀(和泉層群) 頁岩
15	太田第一	関西電力	R	55.5	65 A (64)	底設通廊	28	27	28	20	中生代白亜紀(生野層群) 玢岩
16	多々良木	関西電力	fa	64.5	72 A (65)	堤体下部岩盤	65	45	65	20	新生代古第三紀(生野層群) 石英粗面岩質凝灰岩
17	室生	水資源開発公団	G	63.5	88 B (67)	底部通廊	21	21	16	14	新生代第三紀新鮮世(室生火山岩) 溶結凝灰岩
18	安室	兵庫県	G	50.0	76 B (70)	底部通廊	38	37	38	31	中生代白亜紀(相生層群) 流紋岩質熔結凝灰岩
19	青蓮寺	水資源開発公団	A	82.0	98 B (74)	底部通廊	18	18	18	14	中生代白亜紀(領家帯) 花崗片麻岩
20	猿谷	近畿地建	G	74.0	79 A (77)	底部通廊	18	13	18	13	中生代(株父累帯) 輝緑凝灰岩
21	正木	徳島県	G	67.0	95 B (85)	底部通廊	33	28	33	33	中生代(株父累帯) 砂岩
22	福井	徳島県	G	42.5	96 B (86)	底部通廊	32	32	28	15	中生代白亜紀(四万十帯) 砂岩, 泥岩
23	旭	関西電力	A	86.1	91 A (86)	底部通廊	14	14	14	14	中生代白亜紀(四万十帯) 砂岩, 頁岩
24	石田川	滋賀県	R	43.5	124 B (87)	右岸地山部通廊	12	9	12	7	中生代(丹波帯) 粘板岩
25	瀬戸	関西電力	R	110.5	92 A (87)	堤体底部排水路	35	29	35	12	中生代白亜紀(四万十帯) 砂岩, 頁岩

(注) 1) 形式 A: 7-1式コンクリートダム, G: 重力式コンクリートダム, R: V型型コンクリートダム, E: アースダム, HG: 中空重力式コンクリートダム, fa: 表面遮水型コンクリートダム, GA: 重力7-1式コンクリートダム, GF: 複合ダム(重力式+コンクリート)

2) 震源断層からの距離は, 淡路島側では野島断層から, 神戸側では余震域中央帯(地震当日)からの距離とする。距離は1km単位で記載。震源断層からの距離におけるA, Bは図5-1におけるAダム群, Bダム群を示す。

3) 最大加速度は, 各ダムの管理者から報告された値もしくは各ダムの管理者から提供された波形をもとに解析した値である。

4) 水平最大加速度は, 上下流最大加速度とダム軸最大加速度のうち, 大きいものを記載。また, 最大加速度における-は, 観測値が得られていないものを示す。

表一 5. 1 (2) ダムサイト岩盤の最大加速度

No.	ダム名	管理者	形式 ¹⁾	堤高 (m)	震央からの距離 (震源からの距離) (km)	地震計設置位置	最大加速度 ³⁾			鉛直 最大加速度 (gal)	基礎 岩盤
							水平 最大加速度 (gal)	上下 最大加速度 (gal)	ダム 最大加速度 (gal)		
26	青土	滋賀県	R	43.5	121 B (88)	底設通廊	22	22	21	11	中生代(丹波帯) 砂岩, 泥質砂岩, 頁岩
27	蔵王	近畿農政局	R	56.0	122 B (88)	底設通廊	49	49	22	25	中生代(丹波帯) 砂岩, 粘板岩
28	連	中部地建	G	78.0	109 B (93)	底部通廊	26	26	15	19	中生代ジュラ紀(三波川変成岩類) 黒色片岩, 砂質片岩
29	永源寺	近畿農政局	GF	68.0	129 B (93)	底部通廊	29	29	28	14	中生代白亜紀(六甲花崗岩類) 花崗岩
30	津川	岡山県	G	76.0	105 A (102)	底部通廊	28	28	24	19	中生代(三郡変成岩類), 古第三紀 粘板岩, 珪長岩(貫入岩)
31	池原	電源開発	A	111.0	108 A (102)	堤体下部岩盤	12	11	12	10	中生代白亜紀(四万十帯) 砂岩, 頁岩
32	横山	中部地建	HG	80.8	168 B (131)	底部通廊	23	18	23	17	中生代(美濃帯) 砂岩
33	西平	中部電力	G	31.5	168 B (131)	底部通廊	38	21	38	25	中生代(美濃帯) 粘板岩, チャート
34	新宮	水資源開発公団	G	42.0	148 B (138)	底部通廊	10	10	8	12	中生代(長瀬変成岩類) 砂質片岩
35	早明浦	水資源開発公団	G	106.0	166 B (155)	底部通廊	9	9	7	6	中生代ジュラ紀(三波川変成岩類) 石英石, 片岩
36	上大須	中部電力	R	98.0	192 B (155)	堤体下部岩盤	9	9	7	5	中生代(美濃帯) 砂岩, 粘板岩
37	稲村	四国電力	R	88.0	181 B (170)	底設通廊	7	7	5	5	中生代ジュラ紀(三波川変成岩類) 黒色片岩
38	龍ヶ鼻	福岡県	G	79.5	207 B (172)	堤体下部岩盤	7	7	5	3	新生代第三紀中新世 凝灰岩, 凝灰角礫岩
39	目谷	中国・四国 農政局	R	49.7	189 B (175)	堤体下部岩盤	9	9	7	4	中生代白亜紀(広島花崗岩類) 花崗岩
40	丸山	中部地建	G	98.2	214 B (180)	底部通廊	6	3	6	3	中生代(美濃帯) 砂質粘板岩
41	岩屋	水資源開発公団	R	127.5	230 B (195)	堤体下部岩盤	12	12	7	2	中生代白亜紀 石英斑岩
42	阿木川	水資源開発公団	R	101.5	236 B (200)	底設通廊	5	4	5	3	中生代白亜紀~古第三紀(濃飛流紋岩類) 流紋岩
43	高暮	中国電力	G	69.4	211 B (200)	底部通廊	5	5	4	4	中生代白亜紀(高田流紋岩類) 花崗斑岩, 流紋岩
44	野呂川	広島県	G	44.8	217 B (205)	底部通廊	4	4	4	4	中生代白亜紀(高田流紋岩類) 石英斑岩
45	小屋	石川県	R	56.5	362 B (328)	底設通廊	3	3	2	2	新生代第三紀中新世 凝灰角礫岩, 凝灰岩

(注) 1) 形式 A: 7-1式コンクリートダム, G: 重力式コンクリートダム, GF: 複合ダム(重力式+ロックフィル), R: フォン型ロックフィルダム, E: アースダム, HG: 中空重力式コンクリートダム, f a: 表面遮水型ロックフィルダム, GA: 重力7-1式コンクリートダム,

2) 震源断層からの距離は, 淡路島側では野島断層から, 神戸側では余震域中央帯(地震当日)からの距離とする。距離は1km単位で記載。震源断層からの距離におけるA, Bは図5-1におけるAダム群, Bダム群を示す。

3) 最大加速度は, 各ダムの管理者から報告された値もしくは各ダムの管理者から提供された波形をもとに解析した値である。

4) 水平最大加速度は, 上下流最大加速度のうち, 大きいものを記載。また, 最大加速度における-, 観測値が得られていないものを示す。

表 - 5. 2 ダム以外の土質地盤における最大加速度計測値 (暫定値)

「兵庫県南部地震における道路橋の被災に関する中間報告書」より地盤上 (GR) のデータを転載

No.	名 称	震央からの 距 離 (km)	水 平 最大加速度 (gal)	水 平 方 向 最大加速度 (NS, LG, HA) (gal)	水 平 方 向 最大加速度 (EW, TR, HB) (gal)	鉛 直 方 向 最大加速度 (gal)	
1	加古川大堰	27	211	144	211	264	
2	尼崎高架橋	37	294	294	265	324	
3	紀の川堤防	44	129	129	105	65	
4	紀の川大橋	42	100	99	100	27	
5	淀川堤防(大淀)	45	224	199	224	244	
6	淀川大堰	69	138	138	119	101	
7	大和川堤防	50	199	156	199	56	
8	淀川堤防(枚方)	60	397	293	397	140	
9	吉野川堤防(徳島)	73	110	110	110	26	
10	吉野川堤防(石井)	78	90	90	69	79	
11	赤木大橋	118	60	60	43	9	
12	神戸海洋气象台	15	818	818	617	332	
13	大阪管区气象台	44	81	81	66	65	
14	舞鶴海洋气象台	98	67	67	52	39	
15	岡山地方气象台	104	77	77	59	36	
16	鳥取地方气象台	123	77	77	74	15	
17	彦根地方气象台	132	147	137	147	39	
18	東神戸大橋	25	327	281	327	395	
19	松の浜	34	169	169	107	106	
20	猪名川	43	422	422	417	361	
21	四ツ橋	43	330	252	330	223	
22	神戸	17	502	502	205	283	
23	神戸第8	18	683	394	683	334	
24	尼崎	35	472	321	472	311	
25	和歌山	45	157	157	109	67	
26	小松島	75	96	89	96	32	
27	敦賀	150	55	55	51	20	
28	忠岡	35	290	290	190	137	
29	堺	39	150	150	125	100	
30	福島	40	212	180	212	195	
31	阿倍野	43	226	217	226	136	
32	森河内	49	210	210	123	159	
33	弥栄	52	155	155	145	127	
34	千草	59	109	91	109	74	
35	ポートアイランド	GR	16	341	341	284	556
		GL-16m		565	565	543	—
		GL-32m		544	544	462	200
		GL-83m		679	679	303	187

NS, EWは南北方向, 東西方向
 LG, TRは長軸方向, 長軸直交方向
 HA, HBは堤軸方向, 堤軸直交方向

震源断層からの距離は淡路島側では野島断層から、神戸側では余震域中央帯（地震当日）からの距離とし、下図のように算定した。

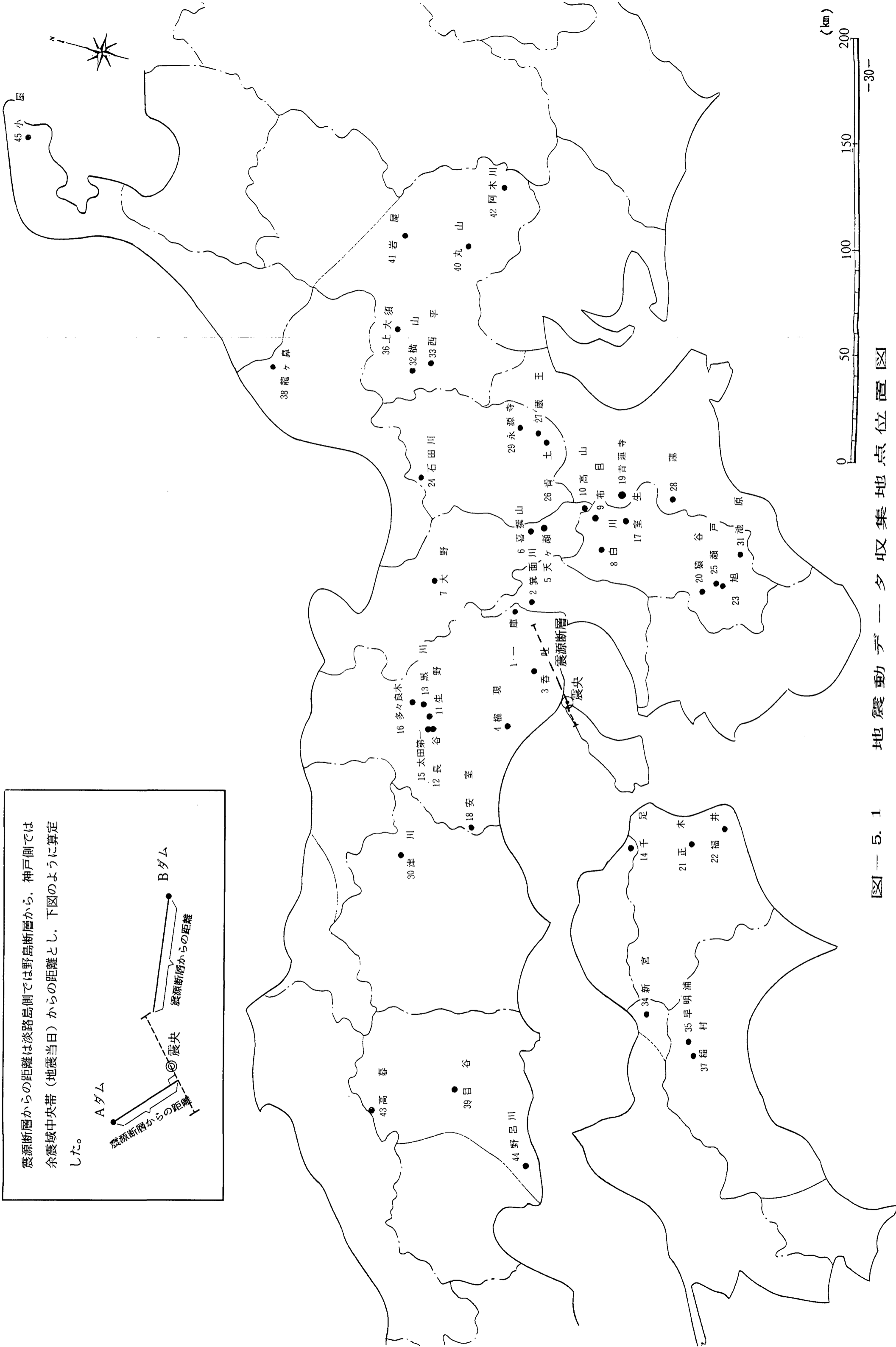
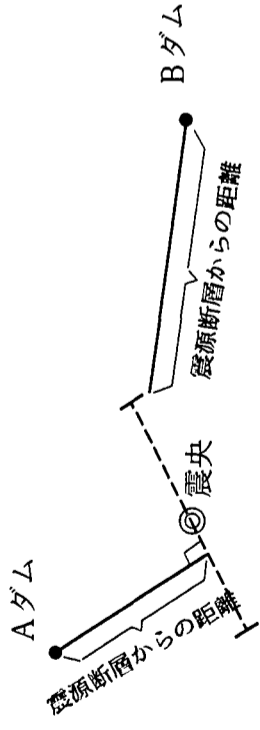
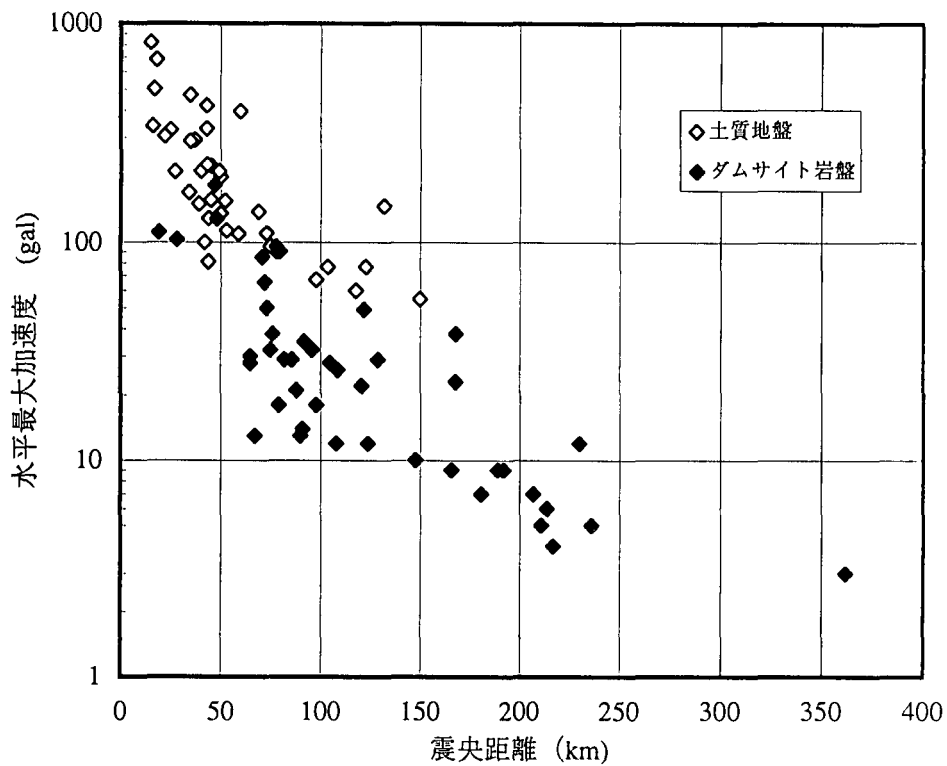
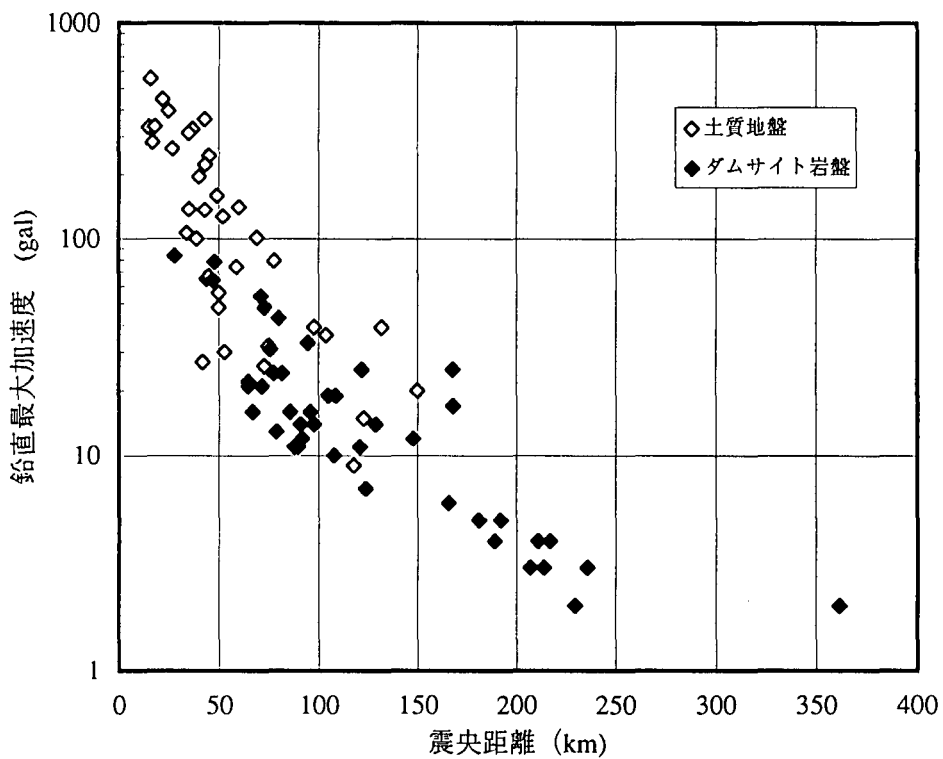


図-5.1 地震動データ収集地点位置図

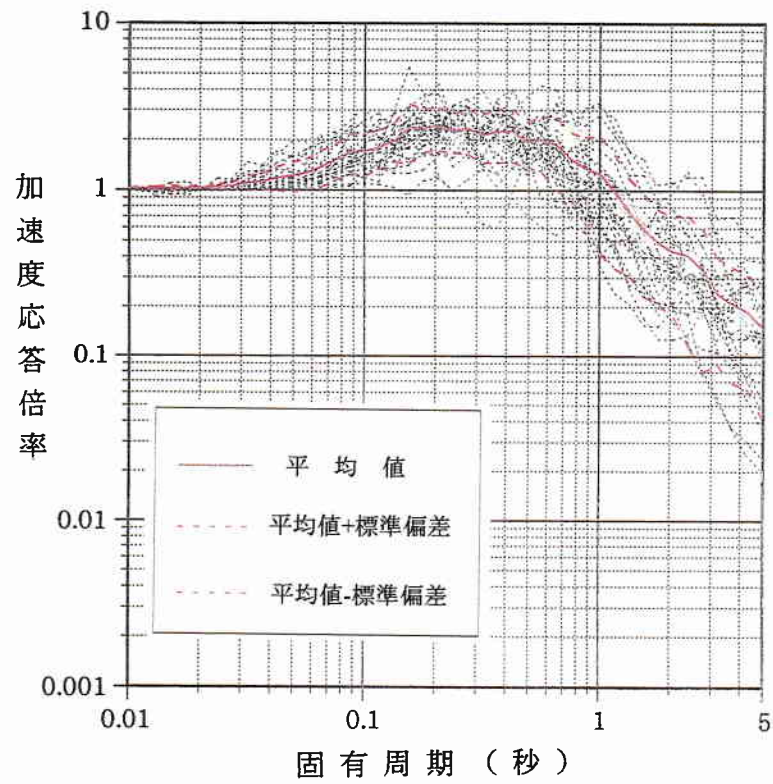


(1) 水平最大加速度（水平方向2成分のうち大きい値）

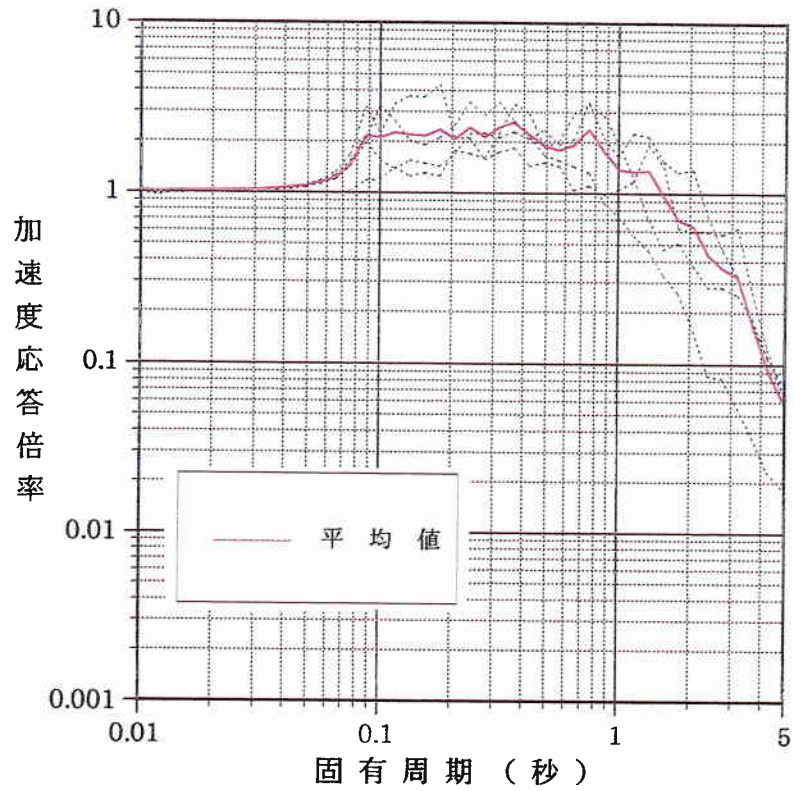


(2) 鉛直最大加速度

図-5.2 ダムサイト岩盤と土質地盤の最大加速度



(1) ダムサイト岩盤（上下流方向）



(2) 土質地盤（水平方向）

図-5.3 ダムサイト岩盤と土質地盤の正規化した加速度応答スペクトル
(減衰定数 $h = 5\%$)

(3) 地震動の方向

ダムサイト岩盤ならびに土質地盤において観測された地震動の加速度オービットを図-5.4に示す。

震央の西方に位置する加古川大堰、安室ダム、北東に位置する一庫ダムでは、図-5.4、表-5.3に示すように、ある程度の卓越する方向性が認められるが、地震動の卓越方向は総体的には明確でない。

表-5.3 地震動の卓越方向

地点名	震央距離 (km) (震源断層からの距離)	震央からの方向	地震動の卓越方向
加古川大堰	27 (27)	NW	ENE - WSW
安室ダム	76 (70)	WNW	ENE - WSW
一庫ダム	47 (10)	NE	WNW - ESE

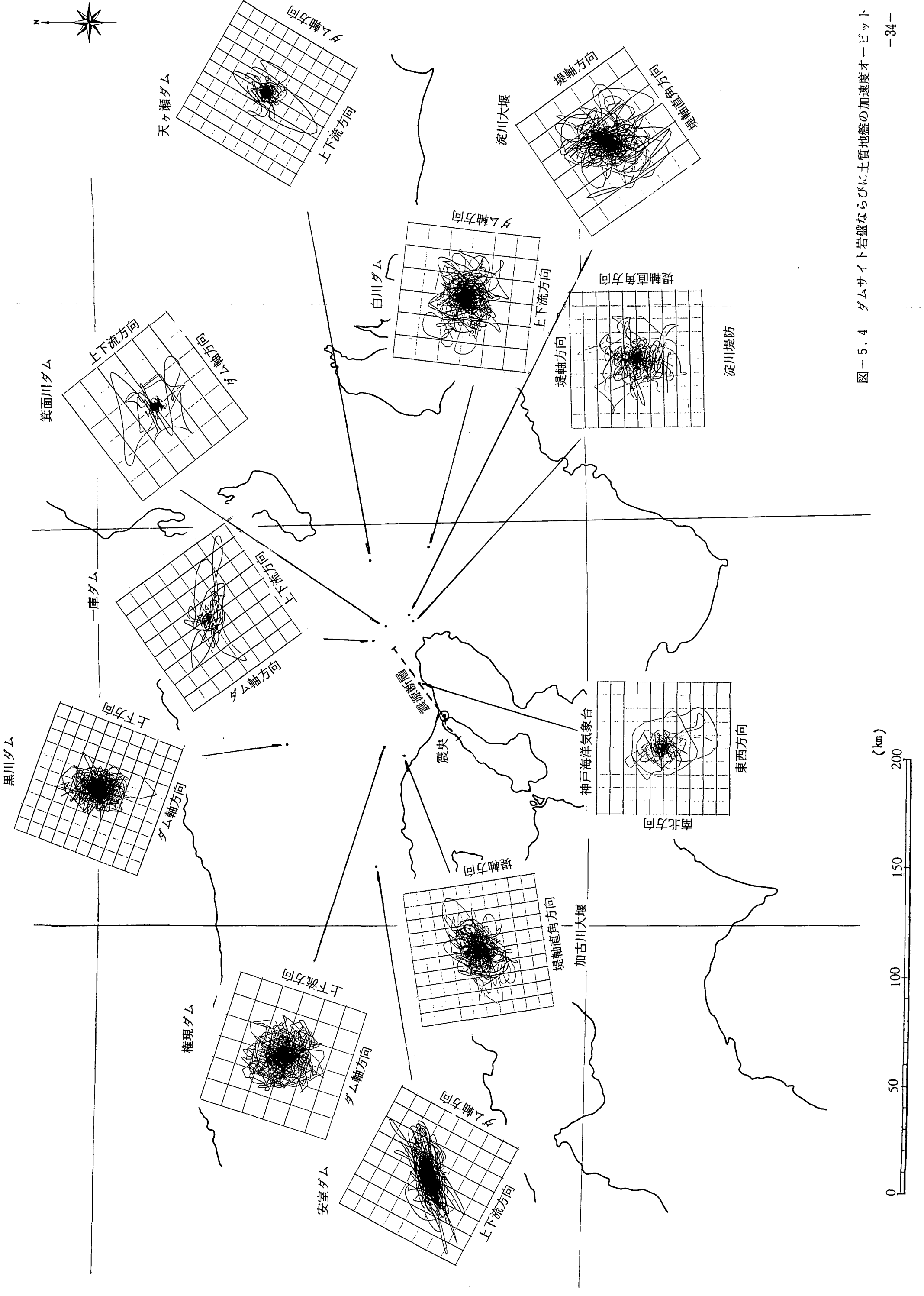


図-5.4 ダムサイト岩盤ならびに土質地盤の加速度オービット

0 50 100 150 200 (km)

5.2 ダムサイト岩盤の地震動の特性

(1) 震源断層からの距離とダムサイト岩盤の最大加速度の関係

地震動は断層が急激に変位することによって生じる。このため、今回の地震をもたらした震源断層近傍で生じた地震動の大きさは震源断層からの距離に大きく影響されるものと考えられる。

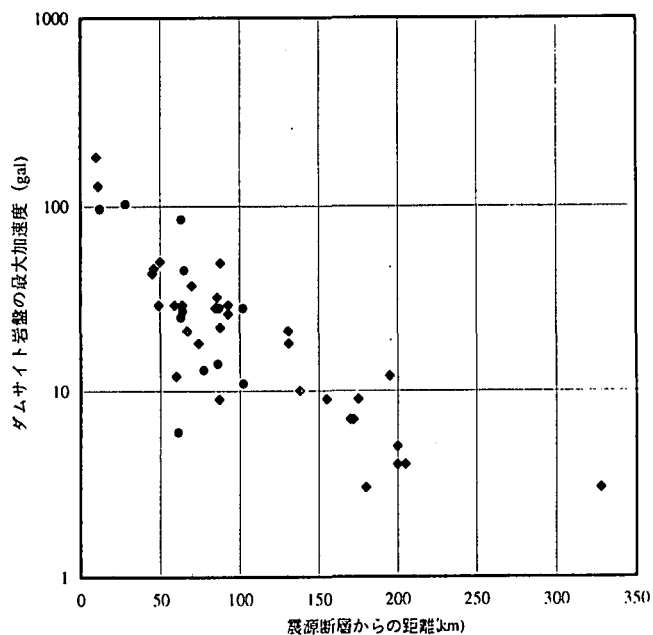
今回の地震をもたらした震源断層は淡路島側では既知の野島断層に沿って地震断層として現れている。また、神戸側ではまだ統一的な見解が得られていないが、既知の第四紀断層のいずれかが地下深部で活動したものと考えられている。このため、特に神戸側において今回の地震で活動した震源断層の範囲を特定することは難しいが、地震直後の余震の震央が北東から南西方向に細長く帯状に分布していることから、ここでは、淡路島側では野島断層、神戸側では地震当日（1月17日）の余震域の中心線を震源断層と見なした。なお、淡路島側では、地震断層の長さと同余震域の範囲はよく一致している。

ダムサイト岩盤で観測された最大加速度（水平方向2成分）と震源断層からの距離の関係を図-5.5に示す。ここに震源断層からの距離とは淡路島側では野島断層からの最短距離、神戸側では震源断層とした地震当日（1月17日）の余震域の中心を通る線分からの最短距離を表している。なお、ダムサイトと震源断層との位置関係は図-5.6に示すように

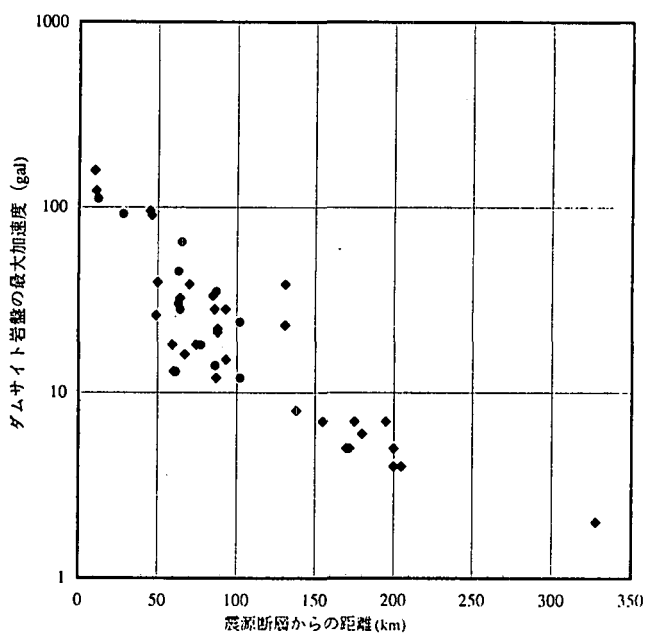
Aダム群 : 上に定義した震源断層に直交する範囲に位置するダム

Bダム群 : A群以外のダム

に分かれるが、図-5.5はA群ダムとB群ダムを分けて整理している。今回の観測データによれば、Aダム群とBダム群に明瞭な差は認められず、岩盤の最大加速度は震源断層からの距離が大きくなるにしたがって減少することがわかる。



上下流方向



ダム軸方向

- (● Aダム群 : 活動した震源断層に直交する範囲に位置するダム)
 (◆ Bダム群 : A群以外のダム)

図-5.5 ダムサイト岩盤の水平最大加速度と震源断層からの距離

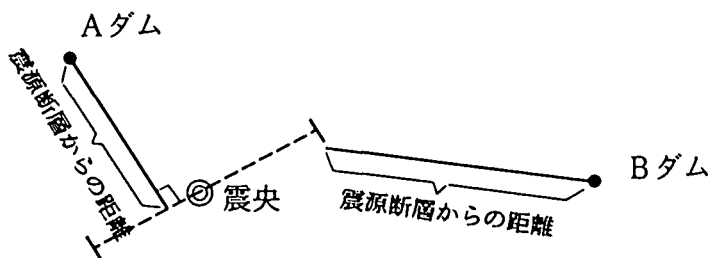


図-5.6 ダムサイトと震源断層の位置

(2) ダムサイト岩盤の地質と最大加速度の関係

図-5.7は、図-5.5に示した結果をダムサイト岩盤の地質条件に着目して整理したものである。図より、最大加速度の大きさに地質条件による差は認められない。これは、ダムサイトの基礎岩盤がいずれも堅硬な岩盤からなっているためと考えられる。

(3) 震源断層近傍の最大加速度

図-5.8に震源断層から100km以下の距離に位置するダムにおける震源断層からの距離と水平最大加速度の関係を示す。

水平最大加速度と震源断層からの距離の関係(図-5.8)に示すように、震源断層からの距離50km以内では8地点でダムサイト岩盤の加速度記録が得られており、これらの観測値のうち、最大値183galを記録した地点の震源断層からの距離は10kmで、極めて震源断層に近い場所に位置している。

また、震源断層近傍でダム以外の岩盤において観測された加速度記録として、水平最大加速度213galの記録が報告されている(伊澤他3名(株)松村組技術研究所):兵庫県南部地震における岩盤上の観測記録「平成7年度 日本建築学会近畿支部研究報告集」1995.6)。本観測地点は震源断層からの距離10km(震央距離31km)と極めて震源断層に近く、また岩盤状況も弾性波速度 $V_p=2.67\text{km/s}$ とダム基礎岩盤と同等の岩盤と判断される。

以上の結果を総合的に判断すると、今回の地震においてダムサイトとなりうるような岩盤で生じた最大加速度の上限は220gal程度と推定される。

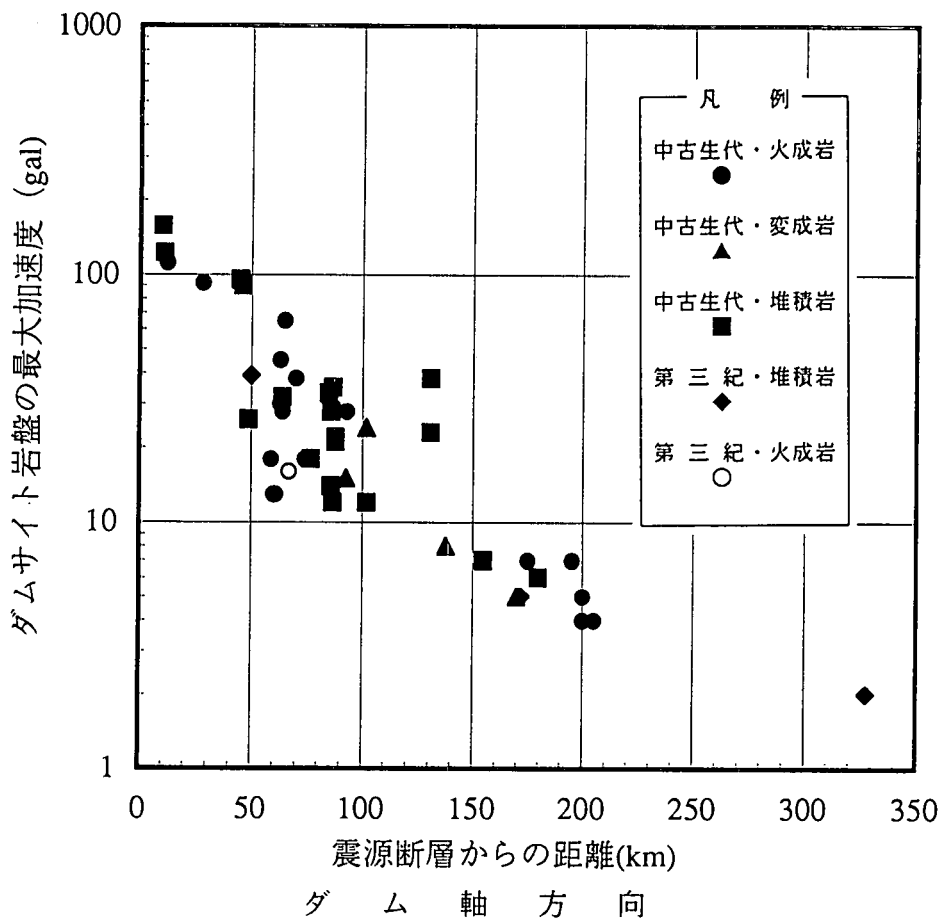
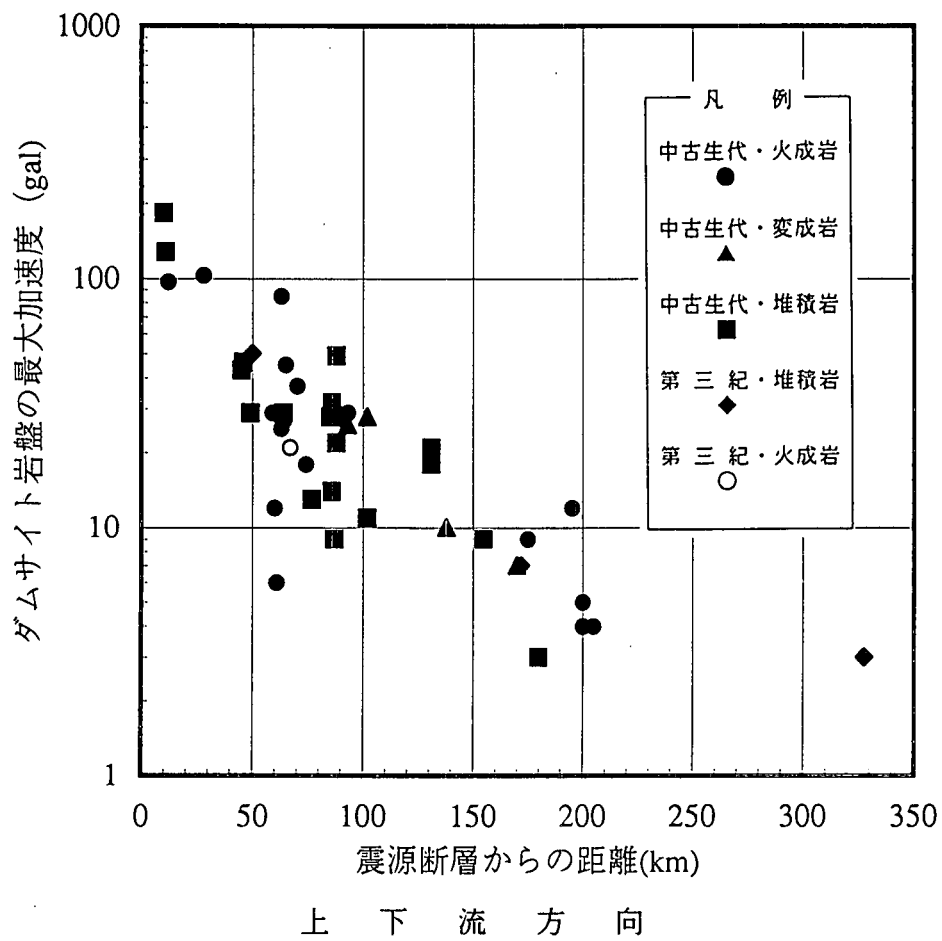


図-5.7 ダムサイト岩盤の地質条件と最大加速度

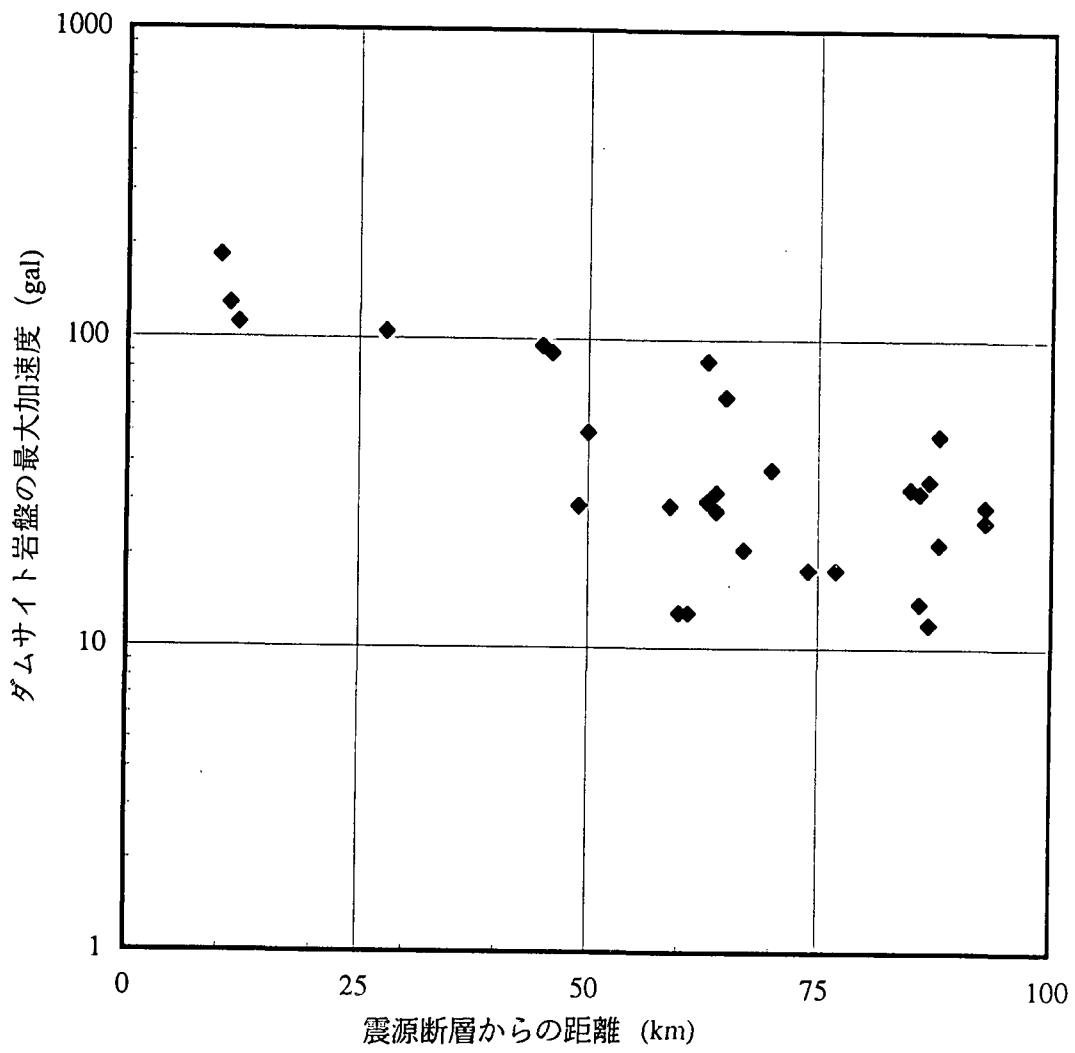


図-5.8 水平最大加速度の距離減衰

(4) 水平加速度と鉛直加速度

兵庫県南部地震においてダムサイトで観測された水平最大加速度と鉛直最大加速度の関係を図-5.9に示す。

図より、鉛直最大加速度と水平最大加速度の比率は30%～100%の範囲にあるが、水平加速度が大きくなると鉛直加速度と水平加速度の比率は小さくなる傾向が見られる。

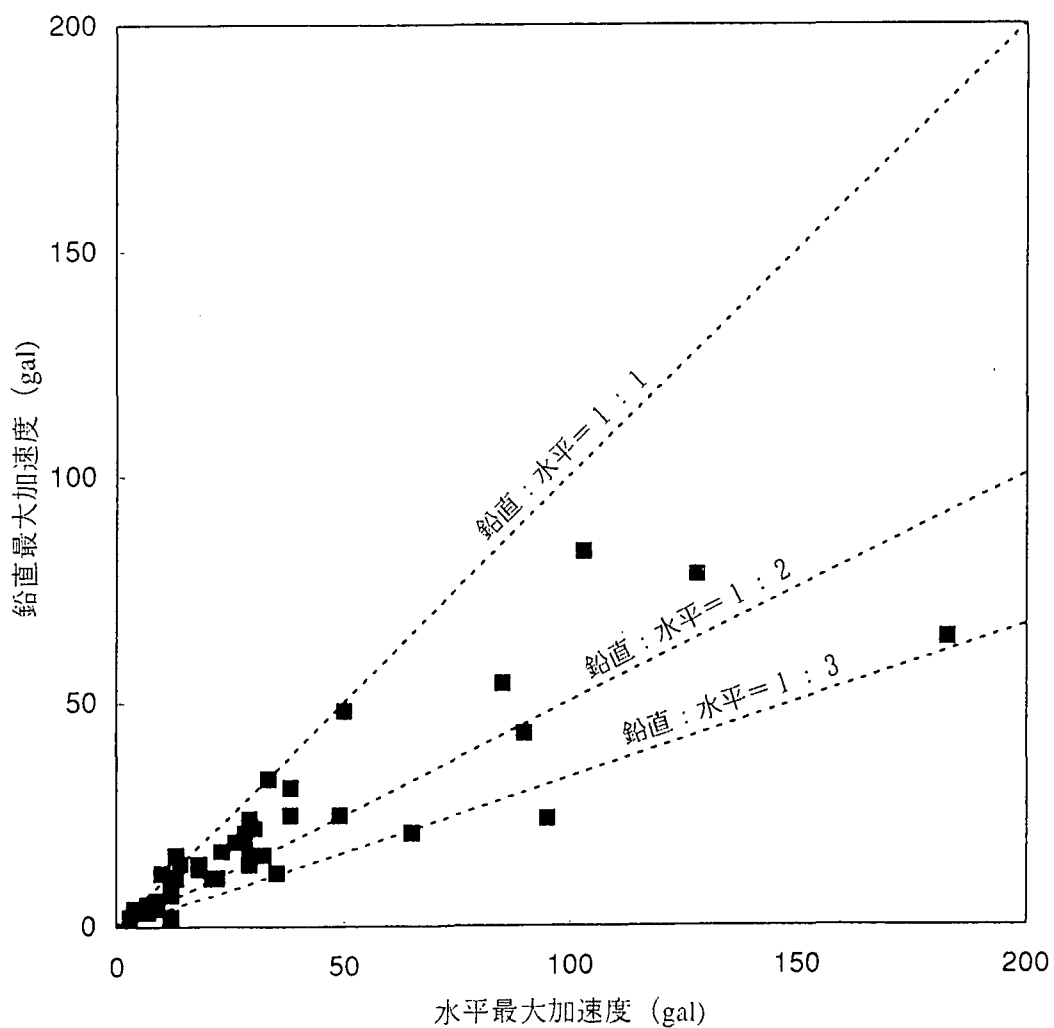
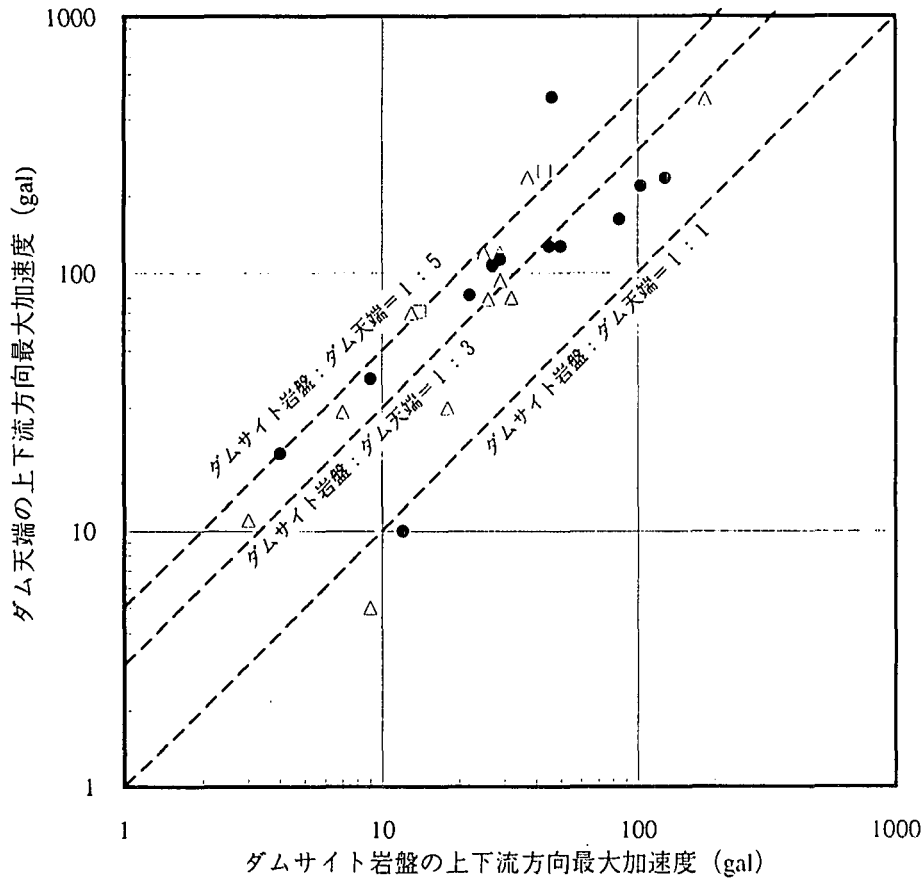


図-5.9 水平最大加速度と鉛直最大加速度

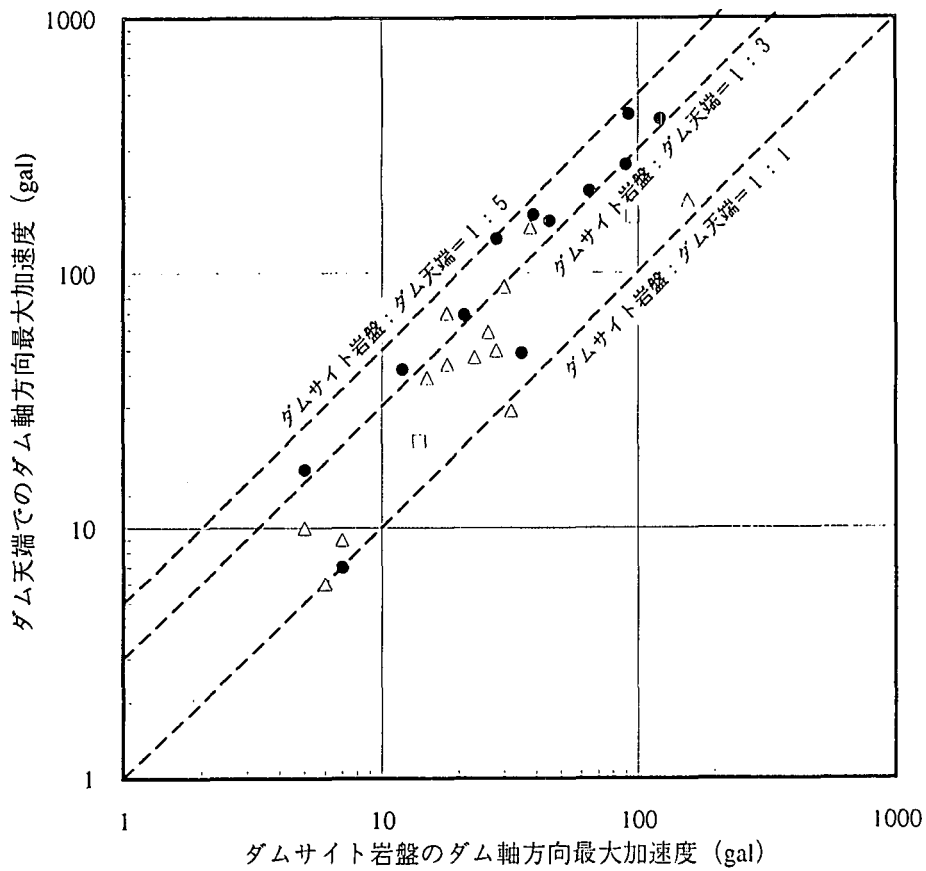
5.3 堤体の震動

兵庫県南部地震で観測されたダムサイト岩盤の最大加速度（上下流方向，ダム軸方向）とダム天端の最大加速度の関係を，ダム型式別に整理した結果を図-5.10に示す。

図より，ダム天端の応答倍率（ダム天端の最大加速度／ダムサイト岩盤の最大加速度）は，コンクリートダム，フィルダムとも1～5倍まで変化している。



(1) 上下流方向



- フィルダム
- △ 重力式コンクリートダム
- アーチ式コンクリートダム

(2) ダム軸方向

図-5.10 ダムサイト岩盤の最大加速度とダム天端の最大加速度